

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS MECANÍSTICO Y BENEFICIOS ECONÓMICOS DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON FIBRAS DE
POLIOLEFINA”**

POR:

ALTAMIRANO JOSE LUIS

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar por el grado académico de
licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

SEMESTRE II- 2022

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE LA COMUNICACIÓN

**“ANÁLISIS MECANÍSTICO Y BENEFICIOS ECONÓMICOS DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON FIBRAS DE
POLIOLEFINA”**

POR:

ALTAMIRANO JOSE LUIS

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar por el grado académico de licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

SEMESTRE II - 2022

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Ivar Altamirano y Marina Bravo, a mi hermana Nataly Altamirano, a mi hermanito Matías Altamirano, los pilares de mi vida que me apoyan en todo momento e hicieron posible cumplir este sueño.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3.1 Situación problemática.....	3
1.3.2 Problema	4
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 HIPÓTESIS.....	4
1.6 VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES	4
1.6.1 Variables independientes	4
1.6.2 Variable dependiente.....	5
1.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	5
1.7.1 Media aritmética.....	6
1.7.2 Desviación estándar	7
1.7.3 Varianza	7
1.8 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	8

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE FALLAS Y REFUERZOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Pág.
2.1 PAVIMENTOS	9
2.2 Clasificación de los pavimentos.....	10
2.2.1.1 Pavimentos rígidos	10
2.2.1.2 Pavimentos semirrígidos	11
2.2.1.3 Pavimentos flexibles	11
2.2.1.3.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible	11
2.2.1.3.2 Características de los pavimentos	13
2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	16
2.2.1 Clasificación de las Mezclas Asfálticas	16
2.2.1.1 Por fracciones de agregado pétreo empleado.....	16
2.2.1.2 Por la temperatura de puesta en obra	17
2.2.1.3 Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica	17
2.2.1.4 Por el tamaño máximo del agregado pétreo.....	17
2.2.1.5 Por la estructura del agregado pétreo.....	18
2.2.1.6 Por la granulometría.....	18
2.2.2 Mezclas asfálticas en Caliente	19
2.2.2.1 Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente	19
2.2.2.2 Características y comportamiento de las mezclas asfálticas	20
2.2.2.2.1 Densidad de la mezcla.....	21
2.2.2.2.2 Vacíos de aire (o simplemente vacíos).....	21
2.2.2.2.3 Vacíos en el agregado mineral	22
2.2.2.2.4 Contenido de cemento asfáltico	22
2.2.2.3 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.....	23

2.2.2.3.1 Estabilidad.....	23
2.2.2.3.2 Durabilidad.....	23
2.2.2.3.3 Impermeabilidad	24
2.2.2.3.4 Trabajabilidad	24
2.2.2.3.5 Flexibilidad	25
2.2.2.3.6 Resistencia a la fatiga.....	25
2.2.2.3.7 Resistencia al deslizamiento	26
2.2.2.4 Componentes de la mezcla asfáltica	26
2.2.2.4.1 Asfalto de petróleo	26
2.2.2.4.1.1 Origen y naturaleza del asfalto.....	27
2.2.2.4.1.2 Refinación de petróleo	28
2.2.2.4.1.3 Refinación del asfalto.....	29
2.2.2.4.1.4 Composición del asfalto.....	31
2.2.2.4.1.5 Composición química.....	31
2.2.2.4.1.6 Clasificación de los asfaltos	32
2.2.2.4.1.7 Propiedades del asfalto.....	33
2.2.2.4.2 Agregados pétreos.....	33
2.2.2.4.2.1 Clasificación de agregados.....	34
2.2.2.4.2.2 Propiedades de agregados	34
2.3 TIPOS DE FALLAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	40
2.3.1 Deformación permanente	41
2.3.2 Agrietamiento por fatiga	42
2.3.3 Fisuración por baja temperatura.....	43
2.4 MODIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	44
2.4.1 Metodología para la modificación de mezclas asfálticas	45
2.4.2 Metodología para la inclusión de las fibras de poliolefina en la mezcla asfáltica por vía seca	46

2.4.3 Dosificaciones para modificar mezclas asfálticas	46
2.5 LAS FIBRAS	48
2.5.1 Fibras poliméricas sintéticas	49
2.5.2. Fibra de poliolefina	51
2.5.2.1 Polietileno (PE).....	52
2.5.2.2 Polipropileno (PP).....	53
2.5.2.3 Elastómeros	54

CAPÍTULO III

ANÁLISIS MECANÍSTICO Y BENEFICIOS ECONÓMICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON FIBRAS DE POLIOLEFINA

	Pág.
3.1 ELECCIÓN DE MATERIALES	56
3.1.1 Materiales pétreos	56
3.1.2 Cemento asfáltico.....	57
3.1.3 Fibras de poliolefina.....	59
3.1.4 Clasificación del tipo de modificador que se usará en la presente investigación	60
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	62
3.2.1 Granulometría (ASTM E-40).....	62
3.2.2 Peso específico y porcentaje de absorción.....	69
3.2.2.1 Peso específico a granel, con superficie seca y saturado y la absorción de agua en agregados gruesos (ASTM E-127).....	69
3.2.2.2 Peso específico a granel, saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agua en agregados finos (ASTM E-128).....	75
3.2.3 Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E-131).....	80
3.2.4 Equivalente de arena (ASTM D-2419)	85
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	88
3.3.1 Ensayo de penetración (ASTM D-5).....	88
3.3.2 Ensayo de peso específico (ASTM D-71-94)	90
3.3.3 Ensayo de ductilidad (ASTM D-113)	92
3.3.4 Ensayo de punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01).....	94
3.3.5 Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D-36).....	95

3.4 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO DE MARSHALL PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO	98
3.4.1 Granulometría de la mezcla	99
3.4.2 Determinación de la cantidad aproximada de cemento asfáltico	101
3.4.3 Preparación de las probetas.....	102
3.4.4 Desarrollo de las briquetas.....	103
3.4.5 Ensayos para determinar la densidad de la mezcla	105
3.4.6 Ensayos para determinar los porcentajes de vacíos de la mezcla	107
3.4.7 Ensayos de estabilidad y fluencia	109
3.5 ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS CON MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON LAS FIBRAS DE POLIOLEFINA.....	115
3.5.1 Preparación de las probetas.....	115
3.5.2 Ensayos de densidad de la mezcla asfáltica modificada con la inclusión de fibras de poliolefina.....	121
3.5.3 Ensayos para determinar los porcentajes de vacíos de la mezcla asfáltica modificada con fibras de poliolefina.....	122
3.5.4 Ensayo de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica modificada con fibras de poliolefina.....	123
3.6 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA	130
3.7 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	133
3.7.1 Prueba de hipótesis para la estabilidad.....	140
3.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PRECIOS UNITARIOS DE LA MEZCLA CONVENCIONAL Y MODIFICADA	143
3.8.1 Ventajas y desventajas del uso de fibras de poliolefina para la modificación de mezclas asfálticas	146
3.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS	147

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pág.

4.1 CONCLUSIONES	155
4.2 RECOMENDACIONES	156

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1. Solicitudes de provisión de materiales y prestación de equipos de laboratorio.

ANEXO 2. Caracterización de los agregados pétreos para mezcla asfáltica.

ANEXO 3. Caracterización de cemento asfáltico.

ANEXO 4. Granulometría formada para la el diseño de la mezcla asfáltica.

ANEXO 5. Dosificación de la mezcla asfáltica convencional.

ANEXO 6. Dosificación de la mezcla asfáltica modificada.

ANEXO 7. Contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla convencional.

ANEXO 8. Contenido óptimo de fibras y cemento asfáltico de la mezcla modificada.

ANEXO 9. Ficha técnica de las propiedades de las fibras de poliolefina del fabricante.

ANEXO 10. Ficha técnica de las propiedades del cemento asfáltico.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de las variables	5
Tabla 2. Muestras de mezcla asfáltica modificadas con fibras de poliolefina	6
Tabla 3. Clasificaciones de mezclas asfálticas.....	18
Tabla 4. Historia del asfalto	28
Tabla 5. Beneficios y desventajas de los tipos de fibras comunes.....	50
Tabla 6. Ventajas y desventajas del uso de fibras de poliolefina.....	51
Tabla 7. Producto Asfalto 85-100.....	58
Tabla 8. Especificaciones técnicas de las fibras de poliolefina brindadas por el fabricante Roka Ltda.....	59
Tabla 9. Tipos y propiedades de fibras poliméricas.....	61
Tabla 10. Tabla de resultados de la granulometría del agregado grueso (Grava).....	66
Tabla 11. Resultados de la granulometría del agregado intermedio (Gravilla)	67
Tabla 12. Resultados de la granulometría del agregado fino (Arena).....	68
Tabla 13. Datos de las muestras de agregado grueso (Grava)	74
Tabla 14. Resultados de peso específico agregado grueso (Grava)	74
Tabla 15. Datos de las muestras de agregado intermedio (Gravilla)	75
Tabla 16. Resultados de peso específico agregado intermedio (Gravilla)	75
Tabla 17. Datos de las muestras de agregado fino (Arena).....	79
Tabla 18. Resultados de peso específico agregado fino (Arena)	80
Tabla 19. Pesos de agregado grueso y número de esferas para el ensayo del desgaste de los ángeles	81
Tabla 20. Datos para el desgaste de los ángeles agregado grueso (Grava).....	84
Tabla 21. Resultados del desgaste de los ángeles agregado grueso (Grava)	85
Tabla 22. Datos para el desgaste de los ángeles agregado intermedio (Gravilla).....	85
Tabla 23. Resultados del desgaste de los ángeles agregado grueso (Gravilla).....	85

Tabla 24. Datos y resultados para el ensayo de equivalente de arena.....	87
Tabla 25. Resultados de caracterización de los agregados y comparación con la normativa ASTM	88
Tabla 26. Datos y resultados del ensayo de penetración.....	90
Tabla 27. Datos y resultados de ensayo peso específico.....	91
Tabla 28. Resultados del ensayo de ductilidad	94
Tabla 29. Resultados del ensayo punto de inflamación	95
Tabla 30. Resultados del ensayo de punto de ablandamiento.....	97
Tabla 31. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico y comparación con la normativa ASTM.....	97
Tabla 32. Pesos de los agregados retenidos a diferentes porcentajes	99
Tabla 33. Granulometría formada y especificaciones.....	100
Tabla 34. Grupo de briquetas para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico por el método Marshall.....	102
Tabla 35. Pesos de los agregados y cemento asfáltico.....	103
Tabla 36. Resultados de la densidad de la mezcla asfáltica convencional.....	107
Tabla 37. Resultados del porcentaje de vacíos y relación de betumen vacíos de la mezcla asfáltica convencional.....	109
Tabla 38. Resultados de la estabilidad y la fluencia de la mezcla convencional	111
Tabla 39. Resultados de los ensayos para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica convencional.....	114
Tabla 40. Grupos de briquetas para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico y el contenido óptimo de fibras de poliolefina	116
Tabla 41. Pesos de los agregados de la mezcla modificada	117
Tabla 42. Resultados de la densidad de la mezcla asfáltica modificada con 0.5 % de fibras de poliolefina.....	122

Tabla 43. Resultados del porcentaje de vacíos y relación betumen vacíos de la mezcla asfáltica modificada con 0.5 % de fibras de poliolefina	123
Tabla 44. Resultados de la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica modificada con 0.5 % de fibras de poliolefina	124
Tabla 45. Resultados de los ensayos para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla modificada con fibras de poliolefina	127
Tabla 46. Porcentajes óptimos de cementos asfáltico en relación a la inclusión de las fibras de poliolefina	127
Tabla 47. Dosificación para encontrar el contenido óptimo cemento asfáltico y el contenido óptimo fibras de poliolefina	130
Tabla 48. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica modificada	132
Tabla 49. Desviación de los resultados para el diseño.....	134
Tabla 50. Tratamiento estadístico para el diseño de una mezcla asfáltica modificada con la inclusión de fibras de poliolefina	136
Tabla 51. Tipos de relación en función a la hipótesis	141
Tabla 52. Análisis del precio unitario de una mezcla convencional	144
Tabla 53. Análisis del precio unitario de una mezcla con fibras de poliolefina en un porcentaje de 2.50 %	145
Tabla 54. Comparación de los precios unitarios de la mezcla convencional y modificada con 2.50 % de fibras de poliolefina.....	146
Tabla 55. Comparación de las ventajas y desventajas	146
Tabla 56. Comparación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada y convencional	147
Tabla 57. Parámetros del ensayo Marshall dentro de los límites estipulados a seguir para la evaluación de calidad de la mezcla asfáltica	148

Gráfico 24. Histogramas de los vacíos del agregado mineral de la mezcla asfáltica modificada con la inclusión de 2.50 % de fibras de poliolefina	138
Gráfico 25. Histogramas de la relación betumen vacíos de la mezcla asfáltica modificada con la inclusión de 2.50 % de fibras de poliolefina	139
Gráfico 26. Histogramas de estabilidad de la mezcla asfáltica modificada con la inclusión de 2.50 % de fibras de poliolefina de poliolefina.....	139
Gráfico 27. Histogramas de fluencia de la mezcla asfáltica modificada con la inclusión de 2.50 % de fibras de poliolefina	140
Gráfico 28. Densidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada con un porcentaje de fibras de poliolefina de 2.50 %	149
Gráfico 29. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica convencional y modificada con un porcentaje de fibras de poliolefina de 2.50 %	150
Gráfico 30. Vacíos del agregado mineral de la mezcla asfáltica convencional y modificada con un porcentaje de fibras de poliolefina de 2.50 %	151
Gráfico 31. Relación de betumen vacíos de la mezcla asfáltica convencional y modificada con un porcentaje de fibras de poliolefina de 2.50 %	152
Gráfico 32. Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada con un porcentaje de fibras de poliolefina de 2.50 %	153
Gráfico 33. Fluencia de la mezcla asfáltica convencional y modificada con un porcentaje de fibras de poliolefina de 2.50 %	154

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura del pavimento flexible	11
Figura 2. Productos y temperaturas típicas de destilación	29
Figura 3. Proceso de flujo para asfalto de petróleo	30
Figura 4. Cadena de hidrocarburos, es la composición básica del Asfalto	31
Figura 5. Representación esquemática de los componentes del asfalto	32
Figura 6. Agregados pétreos	34
Figura 7. Deformación permanente a nivel de carpeta asfáltica	42
Figura 8. Agrietamiento por fatiga.....	43
Figura 9. Fisuración por baja temperatura	44
Figura 10. Fibras poliméricas.....	48
Figura 11. Fibras de poliolefina sintéticas	51
Figura 12. Ubicación de la planta trituradora de agregados Garzón.....	56
Figura 13. Ubicación de la planta de asfaltos de la Posta	57
Figura 14. Fibras de poliolefina	62
Figura 15. Muestra del agregado grueso	63
Figura 16. Muestra del agregado intermedio	63
Figura 17. Muestra del agregado fino	64
Figura 18. Juego de tamices para la granulometría.....	64
Figura 19. Tamizado de los agregados.....	65
Figura 20. Agregado pétreo en reposo por 24 horas	71
Figura 21. Secado superficial del agregado pétreo saturado.....	71
Figura 22. Muestra sumergida.....	72
Figura 23. Muestras secas al horno por 24 horas	72
Figura 24. Secado superficial del agregado fino (Arena)	76
Figura 25. Calibración del matraz.....	77

Figura 26. Peso del agregado fino más el matraz y agua	77
Figura 27. Peso del agregado fino secado en el horno por 24 horas	78
Figura 28. Muestra de agregado grueso (Grava) lavado y tamizado	81
Figura 29. Muestra de agregado intermedio (Gravilla) lavado y tamizado	82
Figura 30. Muestra preparada del agregado grueso e intermedio para realizar el ensayo en la máquina de los ángeles a 500 revoluciones.....	82
Figura 31. Muestras del agregado grueso e intermedio ensayado en la máquina de desgaste de los ángeles.....	83
Figura 32. Tamizado y lavado de las muestras de agregado.....	83
Figura 33. Peso final de los agregados ensayados en la máquina de los ángeles	84
Figura 34. Probetas con agregado fino (Arena)	86
Figura 35. Sedimentación del agregado fino (Arena)	86
Figura 36. Ensayo de penetración del cemento asfáltico	89
Figura 37. Ensayo de peso específico	90
Figura 38. Acondicionamiento de las muestras a temperatura ambiente a 25°C, para realizar la ductilidad	93
Figura 39. Proceso de elongación de las muestras ensayadas.....	93
Figura 40. Ensayo de punto de inflamación.....	95
Figura 41. Ensayo de punto de ablandamiento	96
Figura 42. Preparación del peso de las briquetas	104
Figura 43. Mezclado y vaciado de la mezcla asfáltica en los moldes.....	104
Figura 44. Compactado de las briquetas	105
Figura 45. Briquetas elaboradas.....	105
Figura 46. Ensayo para determinar la densidad de la mezcla	106
Figura 47. Ensayo Marshall	110
Figura 48. Distribución de los pesos de las muestras de agregados, cementó asfáltico y fibras de poliolefina	118

Figura 49. Mezclado de los agregados con las fibras de poliolefina	119
Figura 50. Mezclado de los agregados con el cemento asfáltico y las fibras de poliolefina para la elaboración de la mezcla asfáltica modificada.....	119
Figura 51. Mezcla asfáltica modificada con las fibras de poliolefina.....	120
Figura 52. Compactación de las briquetas con la mezcla asfáltica modificada	120
Figura 53. Briquetas elaboradas con 0.50 %, 1.00 %, 1.50 %, 2.00 %, 2.50 % y 3.00 % de fibras de poliolefina	121
Figura 54. Briquetas elaboradas con el porcentaje óptimo de 2.50 % de fibras de poliolefina y el porcentaje óptimo de 5.74 % de cemento asfáltico.....	131
Figura 55. Tipos de regiones según el tipo de relación a la hipótesis	141
Figura 56. Región 2. con zona de rechazo a la derecha	142
Figura 57. Región 2, con valores calculados.....	143